

DOI: 10.12264/JFSC2020-0286

池塘内循环流水养殖斑点叉尾鲴肌肉品质的分析

董立学^{1,2}, 喻亚丽², 毛涛², 张浪², 周运涛², 陈婷婷², 何力²

1. 华中农业大学水产学院, 湖北 武汉 430070;

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业农村部水产品质量安全风险评估实验室, 湖北 武汉 430223

摘要: 为探讨池塘内循环流水养殖(IPA)与常规池塘养殖(TPA)的斑点叉尾鲴(*Ictalurus punctatus*)肌肉品质差异, 测定两种养殖模式下斑点叉尾鲴 3 个不同部位肌肉(背部、腹部和尾部)的营养成分, 同时分析斑点叉尾鲴背部肌肉的质构和肌纤维特性。结果显示: IPA 组尾部肌肉粗蛋白含量显著高于 TPA 组($P<0.05$), IPA 组背部和尾部肌肉粗脂肪含量显著低于 TPA 组($P<0.05$)。背部肌肉中氨基酸总量、必需氨基酸总量和鲜味氨基酸总量 IPA 组显著高于 TPA 组($P<0.05$); 腹部肌肉中的必需氨基酸总量和鲜味氨基酸总量 IPA 组显著高于 TPA 组($P<0.05$)。17 种检出脂肪酸中, IPA 组背部、腹部和尾部肌肉中豆蔻酸的含量显著低于 TPA 组($P<0.05$), 而二十碳五烯酸(EPA)的含量显著高于 TPA 组($P<0.05$); 在背部和腹部肌肉中 PUFA 的总量存在显著差异, 均为 IPA 组高于 TPA 组($P<0.05$)。肌肉质构特性方面, IPA 组斑点叉尾鲴肌肉的硬度、弹性、咀嚼性和回复性显著高于 TPA 组($P<0.05$); IPA 组斑点叉尾鲴肌纤维直径小、密度高。结果表明, 池塘内循环流水养殖斑点叉尾鲴肌肉品质与营养更具优势。

关键词: 斑点叉尾鲴; 内循环流水养殖; 池塘养殖; 肌肉品质; 营养成分

中图分类号: S961

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)07-0914-11

斑点叉尾鲴(*Ictalurus punctatus*), 属鲇形目(Siluriformes)、鲴科(Lctaluridae), 是一种淡水温水性鱼类。斑点叉尾鲴具有肉质细嫩、肌间刺少、生长速度快、适温范围广和产量高等特点, 现已成为我国重要淡水养殖鱼^[1]。斑点叉尾鲴本身肌肉纤维较短, 组织结构疏松^[2], 池塘养殖作为斑点叉尾鲴最主要的养殖模式, 存在水资源浪费、水环境恶化和池塘底泥污染等问题, 鱼肉品质下降, 可接受性降低^[3-4]。

池塘内循环流水养殖(internal-circulation pond aquaculture, IPA)是通过传统养殖池塘进行工程化改造, 建造流水槽设施, 与外部生态粗放养殖区相结合的一种现代集约化水产养殖新模式^[5], 又称流道养殖、跑道养殖和流水槽养殖等。池塘

内循环流水养殖具有水体水质好、水资源利用效率高、节效高能以及环境可控等特点^[6], 该模式契合了水生态环境保护的理念。循环水养殖是未来水产养殖业的发展方向^[7]。

现有研究表明, 通过流水养殖、流水暂养等方式, 可有效提升鱼类的肌肉品质和营养价值^[6,8-10], 与传统池塘养殖模式相比, 流水养殖模式下鱼类具有更好的体型和更高的存活率^[11], 鱼肉具有高蛋白、低脂肪以及氨基酸的组成更加合理等特点^[12]; 且在流水环境中, 鱼类具有肌纤维直径小、密度大的特点, 肌肉硬度和弹性会提高^[13-14]。因此, 本研究以池塘内循环流水养殖的斑点叉尾鲴为对象, 分析其肌肉的质构特性以及不同部位肌肉的营养成分, 从而提高斑点叉尾鲴的品质

收稿日期: 2020-09-14; 修订日期: 2020-10-10.

基金项目: 农业农村部现代农业产业技术体系项目(CARS-46); 中国水产科学研究院院级基本科研业务费专项(2019ZY16); 中国水产科学院基本科研业务费专项(淡水水产品营养品质评价与质量控制创新团队)。

作者简介: 董立学(1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产养殖. E-mail: 1358116173@qq.com

通信作者: 何力(1963-), 研究员, 博士, 研究方向为水产品质量安全与品质评价. E-mail: 1170746090@qq.com

提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

试验点位于武汉市蔡甸区张湾白湖农庄, 选取传统养殖池塘和设有池塘内循环流水系统的池塘。在两组池塘中放入同一批斑点叉尾鲷鱼苗种, 养殖期间投入同一品牌的鲷鱼商品配合饲料, 养殖 4 个月(2019 年 5—9 月)后, 取两组池塘中体质健康、规格整齐的斑点叉尾鲷各 20 尾, 鲜活鱼运回实验室分析。池塘内循环流水养殖组(IPA)实验组鱼体重为(731.14 ± 58.36) g, 池塘养殖组(TPA)对照组鱼体重为(690.86 ± 54.43) g。

1.2 实验方法

斑点叉尾鲷肌肉不同部位的划分及质构特性分析取样位置如图 1 所示。

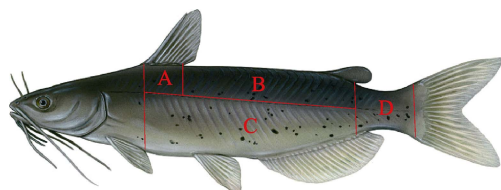


图 1 斑点叉尾鲷肌肉取样部位图

A: 质构取样点; B: 背部肌肉; C: 腹部肌肉; D: 尾部肌肉。

Fig. 1 The sampling part in muscle of channel catfish

A: The sampling part of texture; B: Back muscle;

C: Abdominal muscle; D: Tail muscle.

1.2.1 肌肉质构特性分析 取斑点叉尾鲷侧线上方靠近背鳍部位的肌肉, 切成大小约 $2.0 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm} \times 1.0 \text{ cm}$ 的小块。利用 TVT300XP 型物性质构仪, 采用平底圆柱形探头 P-Cy 5S, 对肉样进行 2 次压缩 TPA 测试。测定条件为: 测试前速率 2.0 mm/s , 测试速率 1.0 mm/s , 测试后速率 2.0 mm/s , 下压程度 30%, 停留间隔时间 5 s, 触发力 10 g, 数据收集率 200 pps。样品在室温条件下进行 TPA 测试, 每尾鲷鱼取 3 个平行肌肉样品进行测定。

1.2.2 肌纤维特性测定 取斑点叉尾鲷侧线上方靠近背鳍部位的肌肉, 切成大小约为 0.5 cm^3 的小方块(取样过程尽量避免挤压肌肉, 防止组织变形), 每尾鲷鱼取 3 个平行样, 浸入甲醛固定液中固定, 每块肌肉制作 3 张石蜡切片。用正置荧光

显微镜观察肌纤维结构特征, 图像采集分析。使用 Caseviewer 软件对肌纤维图像进行肌纤维直径及密度测量。每张切片随机取约 100 条肌纤维测定短径和长径(肌纤维横截面两边界之间距离的最小值和最大值), 随机取 10 个单位面积的视野进行肌纤维计数, 计算肌纤维密度, 取平均值。

1.2.3 肌肉营养成分含量测定 各营养成分采用食品安全国家标准方法进行测定。水分、粗蛋白和粗脂肪分别参照 GB 5009.3-2016^[15](直接干燥法)、GB 5009.5-2016^[16](凯氏定氮法)和 GB 5009.6-2016^[17](索氏抽提法)。常规营养成分含量以鲜质量计。

氨基酸含量的测定: 参照 GB 5009.124-2016^[18], 使用氨基酸自动分析仪 L-8900 测定斑点叉尾鲷肌肉中 17 种氨基酸含量。色氨酸在酸水解过程中被破坏, 未另测定。氨基酸含量以鲜质量计。

脂肪酸含量的测定: 参照 GB 5009.168-2016^[19], 使用 7890A 气相色谱仪测定 37 种脂肪酸的相对含量。脂肪酸含量以鲜质量计。

1.3 数据分析

使用 Microsoft Excel 2003 软件进行数据统计, 数据以平均值 $\pm$ 标准差形式表示, 使用 SPSS 19.0 软件中的独立样本 *T* 检验进行数据分析, $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 常规营养成分

IPA 组和 TPA 组养殖斑点叉尾鲷各部位肌肉水分含量无显著差异($P > 0.05$);

IPA 组和 TPA 组养殖斑点叉尾鲷背部和腹部肌肉粗蛋白含量无显著差异, 但 IPA 组尾部肌肉粗蛋白含量显著高于 TPA 组($P < 0.05$);

IPA 组和 TPA 组养殖斑点叉尾鲷粗脂肪含量在腹部无显著差异($P > 0.05$); IPA 组背部和尾部粗脂肪含量显著低于 TPA 组, 且尾部粗脂肪含量为极显著差异($P < 0.01$)(表 1)。

2.2 不同部位肌肉氨基酸组成和含量分析

除色氨酸(未检测)以外, IPA 组和 TPA 组养殖斑点叉尾鲷背部、腹部和尾部肌肉测定的 17 种氨基酸中, 包括必需氨基酸(EAA)7 种、鲜味氨基酸

表 1 IPA 组和 TPA 组斑点叉尾鮰不同部位肌肉营养成分

Tab. 1 The proximate composition of muscles in different parts of channel catfish in the IPA and TPA group

项目 item	背部 back		腹部 abdomen		尾部 tail	
	IPA 组	TPA 组	IPA 组	TPA 组	IPA 组	TPA 组
	IPA group	TPA group	IPA group	TPA group	IPA group	TPA group
水分 moisture	75.89±0.93	74.37±0.89	74.31±1.18	74.87±0.91	5.71±1.37	73.98±1.19
粗蛋白 crude protein	17.75±0.17	16.92±0.65	14.89±0.26	14.80±0.74	17.24±0.53*	15.72±0.42
粗脂肪 crude fat	4.51±0.18*	5.26±0.31	6.29±0.21	6.67±0.54	5.34±0.17**	7.05±0.06

注: *表示差异显著($P<0.05$), **表示差异极显著($P<0.01$).
Note: * indicates significant difference ($P<0.05$). ** indicates extremely significant difference ($P<0.01$).

(DAA)4 种、半必需氨基酸(HEAA)2 种, 其他氨基酸 4 种。

背部肌肉中, IPA 组必需氨基酸总量(Σ EAA)、鲜味氨基酸总量(Σ DAA)以及 17 种氨基酸总量(Σ TAA)均显著高于 TPA 组($P<0.05$); 其中 IPA 组必需氨基酸中苏氨酸(Thr)、缬氨酸(Val)、异亮氨酸(Ile)、蛋氨酸(Met)和亮氨酸(Leu)的含量显著高于 TPA 组($P<0.05$); IPA 组鲜味氨基酸中天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)和丙氨酸(Ala)的含量亦显著高于 TPA 组($P<0.05$)。

腹部肌肉中, 鲜味氨基酸总量(Σ DAA)和 17 种氨基酸总量(Σ TAA), IPA 组均高于 TPA 组($P<0.05$)。IPA 组必需氨基酸中苏氨酸(Thr)、缬氨酸(Val)、异亮氨酸(Ile)和亮氨酸(Leu)的含量显著高于 TPA 组($P<0.05$); IPA 组鲜味氨基酸中天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)和丙氨酸(Glu)的含量亦显著高于 TPA 组($P<0.05$)。

尾部肌肉中, 17 种氨基酸总量(Σ TAA), IPA 组均高于 TPA 组($P<0.05$); IPA 组必需氨基酸总量(Σ EAA)和鲜味氨基酸总量(Σ DAA)与 TPA 组无显著差异($P>0.05$); IPA 组必需氨基酸中苏氨酸(Thr)、异亮氨酸(Ile)和亮氨酸(Leu)的含量显著高于 TPA 组($P<0.05$); IPA 组鲜味氨基酸中天冬氨酸(Asp)含量显著高于 TPA 组($P<0.05$)。

IPA 组背部肌肉中氨基酸总量(Σ TAA)、必需氨基酸总量(Σ EAA)和鲜味氨基酸总量(Σ DAA)为所有肌肉部位中最高, 分别为 20.63 g/100g、7.44 g/100g 和 8.53 g/100g。TPA 组组背部肌肉中氨基酸总量(Σ TAA)、必需氨基酸总量(Σ EAA)和鲜味氨基酸总量(Σ DAA)为所有肌肉部位中最

低, 分别为 17.62 g/100 g、6.13 g/100 g 和 7.19 g/100 g (表 2)。

2.3 不同部位肌肉脂肪酸组成和含量分析

IPA 组和 TPA 组养殖斑点叉尾鮰的背部、腹部和尾部肌肉中均测定出了 17 种脂肪酸, 包括饱和脂肪酸(SFA)6 种, 单不饱和脂肪酸(MUFA)3 种, 多不饱和脂肪酸(PUFA)8 种。背部肌肉中, IPA 组豆蔻酸(C14:0)和 α -亚麻酸(C18:3n-3)的相对含量显著低于 TPA 组($P<0.05$), 而 IPA 组二十五碳烯酸(EPA)的相对含量显著高于 TPA 组($P<0.05$); 腹部肌肉中, IPA 组豆蔻酸(C14:0)和 α -亚麻酸(C18:3n-3)的相对含量显著低于 TPA 组($P<0.05$), 而 IPA 组二十碳烷酸(C20:0)和二十五碳烯酸(EPA)的相对含量显著高于 TPA 组($P<0.05$); 尾部肌肉中, IPA 组豆蔻酸(C14:0)和 α -亚麻酸(C18:3n-3)的相对含量显著低于 TPA 组, 且 α -亚麻酸(C18:3n-3)为极显著差异($P<0.01$), 而 IPA 组十七碳烷酸(C17:0)和亚油酸(C18:2)的相对含量显著高于 TPA 组, 其中亚油酸(C18:2)为极显著差异($P<0.01$); IPA 组背部和腹部肌肉中多不饱和脂肪酸(PUFA)的总量显著高于 TPA 组($P<0.05$), 而尾部肌肉中的 PUFA 总量, 两组无显著差异(表 3)。

2.4 肌肉质构特性

IPA 组和 TPA 组肌肉质构特性分析见图 2, 选取其背部肌肉, 从图中发现 IPA 组斑点叉尾鮰肌肉硬度、弹性、咀嚼性和回复性均显著高于 TPA 组, 其中硬度、咀嚼性和回复性为差异极显著($P<0.01$)。与 TPA 组相比, IPA 组斑点叉尾鮰肌肉硬度、弹性、咀嚼性和回复性分别提高了 17.72%、16.67%、76.24%和 25.93%。

表 2 IPA 组和 TPA 组养殖斑点叉尾鲷不同部位肌肉氨基酸含量

Tab. 2 The amino acid content of muscles in different parts of channel catfish in the IPA and TPA group

氨基酸 amino acid	背部 back		腹部 abdomen		尾部 tail	
	IPA 组	TPA 组	IPA 组	TPA 组	IPA 组	TPA 组
	IPA group	TPA group	IPA group	TPA group	IPA group	TPA group
苏氨酸 Thr [^]	0.92±0.02**	0.72±0.02	0.87±0.02**	0.78±0.01	0.77±0.01**	0.70±0.01
缬氨酸 Val [^]	1.10±0.04**	0.93±0.01	1.02±0.02*	0.94±0.03	0.95±0.03	0.88±0.05
蛋氨酸 Met [^]	0.41±0.00*	0.34±0.03	0.40±0.06	0.38±0.01	0.33±0.02	0.32±0.02
异亮氨酸 Ile [^]	0.85±0.03**	0.65±0.03	0.81±0.03*	0.72±0.02	0.72±0.02**	0.63±0.02
亮氨酸 Leu [^]	1.55±0.05**	1.15±0.06	1.47±0.05**	1.30±0.02	1.28±0.03**	1.11±0.01
苯丙氨酸 Phe [^]	0.85±0.03	0.83±0.18	0.92±0.14	0.71±0.00	0.74±0.01	0.87±0.12
赖氨酸 Lys [^]	1.75±0.04	1.51±0.23	1.73±0.17	1.47±0.02	1.38±0.01	1.48±0.16
天冬氨酸 Asp [#]	1.91±0.03**	1.52±0.05	1.83±0.04**	1.62±0.02	1.54±0.03*	1.42±0.04
谷氨酸 Glu [#]	2.97±0.09**	2.35±0.07	2.66±0.06*	2.47±0.07	2.37±0.05	2.28±0.09
甘氨酸 Gly [#]	0.81±0.04	0.92±0.20	0.98±0.03*	0.85±0.03	0.90±0.11	1.13±0.06
丙氨酸 Ala [#]	2.83±0.04*	2.39±0.16	2.87±0.04**	2.49±0.00	2.51±0.08	2.52±0.09
组氨酸 His ⁺	0.41±0.01	0.40±0.08	0.44±0.07	0.36±0.01	0.35±0.00	0.40±0.05
精氨酸 Arg ⁺	1.05±0.02	0.87±0.04	1.06±0.02**	0.93±0.00	0.93±0.03	0.90±0.03
丝氨酸 Ser	0.79±0.02**	0.65±0.01	0.76±0.02*	0.68±0.01	0.68±0.00*	0.65±0.02
半胱氨酸 Cys	0.62±0.05	0.65±0.04	0.30±0.05**	0.54±0.04	0.52±0.13	0.59±0.11
酪氨酸 Tyr	0.99±0.06	0.97±0.04	0.94±0.05	0.88±0.04	0.91±0.04	0.94±0.06
脯氨酸 Pro	0.82±0.02**	0.77±0.09	0.82±0.01*	0.76±0.02	0.83±0.05	0.87±0.10
必需氨基酸总量 ΣEAA	7.44±0.20*	6.13±0.47	7.23±0.47	6.30±0.09	6.17±0.11	5.98±0.21
鲜味氨基酸总量 ΣDAA	8.53±0.20**	7.19±0.32	8.34±0.15**	7.43±0.09	7.32±0.13	7.35±0.26
氨基酸总量 ΣTAA	20.63±0.48*	17.62±0.90	19.89±0.80*	17.87±0.24	17.71±0.13	17.67±0.46
ΣEAA/ΣTAA	0.36±0.00	0.35±0.01	0.36±0.01	0.35±0.00	0.35±0.01	0.34±0.01
ΣDAA/ΣTAA	0.41±0.00	0.41±0.01	0.42±0.01	0.42±0.01	0.41±0.01	0.42±0.00

注: [^]必需氨基酸; [#]鲜味氨基酸; ⁺半必需氨基酸. *表示差异显著($P<0.05$), **表示差异极显著($P<0.01$).
Note: [^] means essential amino acids. [#] means flavor amino acids. ⁺ means half-essential amino acids.
* indicates significant difference ($P<0.05$). ** indicates extremely significant difference ($P<0.01$).

表 3 IPA 组和 TPA 组养殖斑点叉尾鲷不同部位肌肉脂肪酸含量

Tab. 3 The fatty acid content of muscles in different parts of channel catfish in the IPA and TPA group

脂肪酸 fatty acid	背部 back		腹部 abdomen		尾部 tail	
	IPA 组	TPA 组	IPA 组	TPA 组	IPA 组	TPA 组
	IPA group	TPA group	IPA group	TPA group	IPA group	TPA group
C14:0(豆蔻酸)	1.29±0.04*	1.83±0.04	1.33±0.04**	1.94±0.01	1.33±0.02**	1.77±0.03
C15:0(十五碳烷酸)	0.25±0.06	0.20±0.01	0.25±0.02	0.20±0.01	0.25±0.02	0.21±0.02
C16:0(棕榈酸)	29.70±0.29	29.51±0.29	30.13±0.50	30.11±0.03	30.62±0.27	30.04±0.15
C17:0(十七碳烷酸)	0.31±0.02	0.25±0.02	0.31±0.02	0.25±0.01	0.32±0.02*	0.26±0.01
C18:0(硬脂酸)	8.33±0.38	8.15±0.37	8.39±0.32	8.23±0.16	7.96±0.46	7.58±0.46
C20:0(二十碳烷酸)	0.42±0.01	0.40±0.01	0.46±0.01*	0.43±0.00	0.43±0.013	0.33±0.12
C16:1(棕榈一烯酸)	2.81±0.36	3.17±0.33	2.93±0.36	3.33±0.26	3.11±0.35	3.43±0.44

(待续 to be continued)

(续表 3 Tab. 3 continued)

脂肪酸 fatty acid	背部 back		腹部 abdomen		尾部 tail	
	IPA 组 IPA group	TPA 组 TPA group	IPA 组 IPA group	TPA 组 TPA group	IPA 组 IPA group	TPA 组 TPA group
C18:1(油酸)	0.23±0.01	0.27±0.01	0.25±0.03	0.28±0.01	0.25±0.01	0.28±0.01
C20:1(花生一烯酸)	2.36±0.23	2.47±0.04	2.53±0.21	2.47±0.04	2.53±0.20	2.64±0.02
C18:2(亚油酸)	41.02±0.52	38.21±0.68	40.80±0.92	38.14±0.25	39.11±0.13**	37.40±0.07
C18:3(γ-亚麻酸)	0.55±0.09	0.52±0.05	0.58±0.10	0.57±0.02	0.59±0.09	0.65±0.09
C18:3(α-亚麻酸)	3.38±0.07*	4.02±0.10	3.37±0.11*	4.00±0.01	3.14±0.04**	3.79±0.05
C20:2(花生二烯酸)	1.96±0.35	2.00±0.02	1.96±0.38	1.97±0.04	2.07±0.28	2.15±0.15
C20:3(花生三烯酸)	2.14±0.05	2.11±0.09	2.00±0.12	1.95±0.02	2.28±0.10	2.27±0.04
C20:4(花生四烯酸)	1.71±0.30	1.39±0.16	1.25±0.18	1.17±0.08	1.91±0.12	1.50±0.09
C20:5(EPA)	0.61±0.01*	0.42±0.03	0.56±0.06**	0.38±0.03	0.59±0.09	0.43±0.07
C22:6(DHA)	3.10±0.24	3.39±0.37	2.73±0.40	2.83±0.18	3.49±0.17	3.57±0.21
Σ SFA	5.41±0.13	5.91±0.30	5.70±0.16	6.08±0.23	5.89±0.15	6.35±0.43
Σ MUFA	40.31±0.11	40.34±0.15	40.86±0.15	41.16±0.24	40.91±0.20	40.19±0.76
Σ PUFA	54.28±0.24*	52.26±0.11	53.08±0.05**	51.18±0.15	53.02±0.16	51.92±0.34

注:*表示差异显著($P<0.01$), **表示差异极显著($P<0.01$).
Note: SFA means saturated fatty acid; MUFA means monounsaturated fatty acid; PUFA means polyunsaturated fatty acids; HUFA means highly unsaturated fatty acids. * indicates significant difference ($P<0.05$). ** indicates extremely significant difference ($P<0.01$).

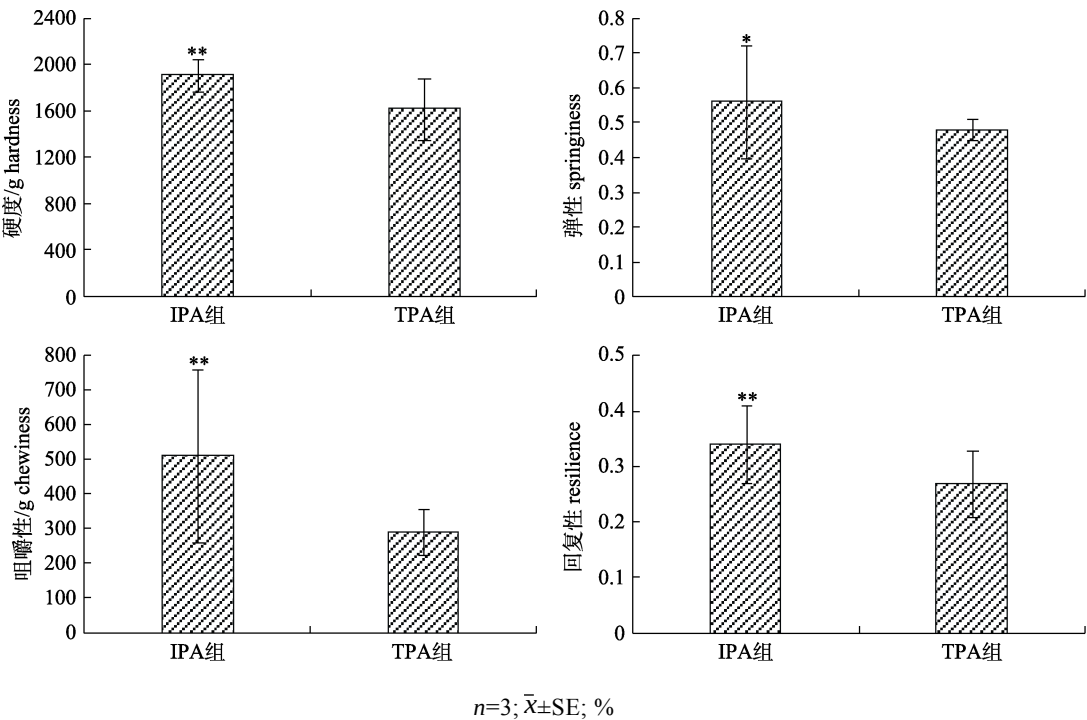


图 2 IPA 组与 TPA 组斑点叉尾鮰肌肉硬度、弹性、咀嚼性和回复性
*表示差异显著($P<0.05$), **表示差异极显著($P<0.01$).

Fig. 2 The hardness, springiness, chewiness and resilience of channel catfish in IPA and TPA group
* indicates significant difference ($P<0.05$). ** indicates extremely significant difference ($P<0.01$).

2.5 肌纤维特性

IPA 组斑点叉尾鲷肌纤维短径与长径显著低于 TPA 组($P<0.05$); 而斑点叉尾鲷肌纤维密度, IPA 组(137.79 n/mm^2)高于 TPA 组(123.53 n/mm^2), 但无显著差异($P>0.05$)(表 4)。IPA 组与 TPA 组斑点叉尾鲷肌肉横切图见图 3。

表 4 IPA 组与 TPA 组斑点叉尾鲷肌纤维长径、短径与密度
Tab. 4 The long diameter, short diameter, and density of muscle fiber of channel catfish in IPA and TPA group
 $n=3; \bar{x}\pm\text{SE}; \%$

组别 group	短径/ μm short diameter	长径/ μm long diameter	密度/ (n/mm^2) density
IPA	$73.42\pm14.31^*$	$117.71\pm29.82^*$	137.79 ± 27.48
TPA	81.84 ± 14.21	128.86 ± 28.14	123.53 ± 14.05

注: *表示差异显著($P<0.05$), **表示差异极显著($P<0.01$)。
Note: * indicates significant difference ($P<0.05$). ** indicates extremely significant difference ($P<0.01$).

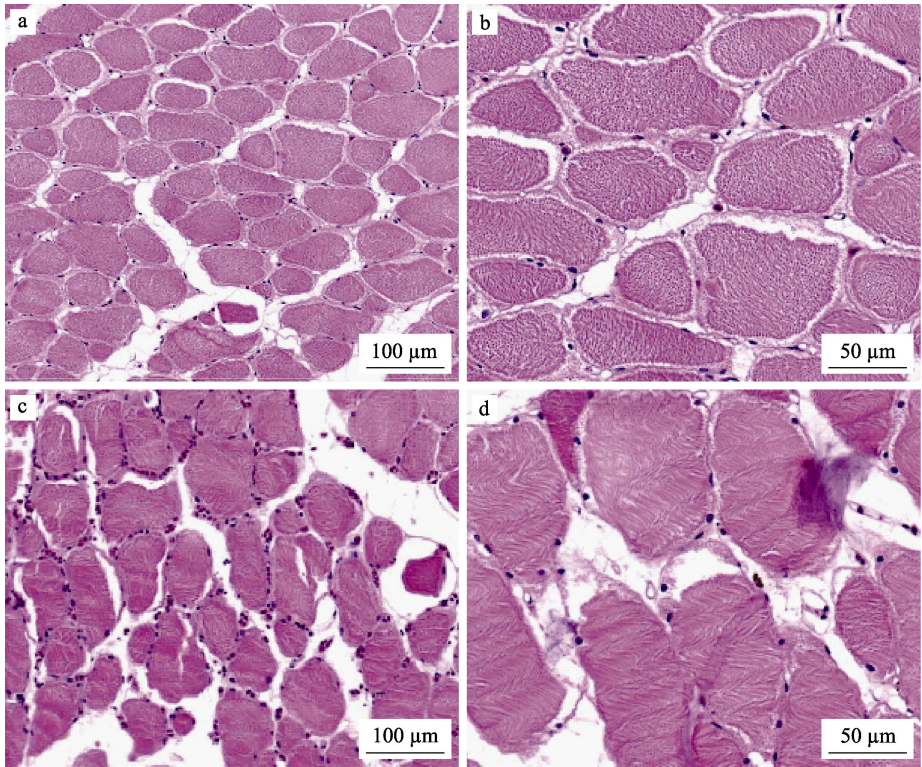


图 3 IPA 组与 TPA 组斑点叉尾鲷肌纤维横切微观图
a、b: IPA 组; c、d: TPA 组。
Fig. 3 Muscle cross section of channel catfish in IPA and TPA group
a, b: IPA group; c, d: TPA group.

3 讨论

3.1 斑点叉尾鲷常规营养成分

肌肉是鱼体的主要食用部位和营养部位, 肌肉中的水分、蛋白、脂肪等营养成分含量和组成, 对评价鱼类肌肉品质的评价起重要作用^[20]。研究表明, 适宜的运动训练能够提高鱼类肌肉中蛋白

质的含量, 同时能促进脂代谢^[21-22]。本研究中, IPA 组斑点叉尾鲷全鱼肌肉粗蛋白含量显著高于 TPA 组($P<0.05$), 粗脂肪含量无显著差异($P>0.05$)。在不同部位肌肉中, IPA 组斑点叉尾鲷尾部肌肉粗蛋白含量显著高于 TPA 组($P<0.05$), 而 IPA 组斑点叉尾鲷背部和尾部肌肉粗脂肪含量显著低于 TPA 组($P<0.05$)。池塘内循环流水养殖模式中, 由

于水流的作用,斑点叉尾鲷在池塘内循环流水养殖过程中需释放更多的能量来维持生命活动,导致运动能力提高^[23],运动训练可以促进鱼类的生长,提高食物转化率和增加肌肉蛋白质含量^[24]。同时,水流导致斑点叉尾鲷的运动量增加,其代谢速率加快,需要提供更多能量,因此肌肉中的脂肪被分解利用^[6]。最终导致鱼肉脂肪含量降低,蛋白含量增加。尾鳍是鱼类重要的运动器官,研究表明,在一定的范围内,鱼类摆尾频率、耗氧率与游泳速度呈正相关^[25-27]。这可能是导致池塘内循环流水养殖斑点叉尾鲷尾部肌肉高蛋白、低脂肪特点最为重要的原因。

3.2 斑点叉尾鲷不同部位肌肉氨基酸

鱼肉中蛋白质的营养价值取决于氨基酸的含量、种类及比例。必需氨基酸是人体生长发育所必需的氨基酸,其组成与含量是鱼肉营养价值评价的重要指标^[28]。赖氨酸(Lys)能够促进大脑发育,促进脂肪代谢,是肝及胆的组成成分;缬氨酸(Val)和异亮氨酸(Ile),能降低胆固醇、保护肝脏等;蛋氨酸(Met)能参与组成血红蛋白、组织与血清,促进脾脏、胰脏及淋巴的功能^[29-30];苏氨酸(Thr)和亮氨酸(Leu)可作用于氨基酸的平衡转化。本研究中,IPA 组斑点叉尾鲷三个部位肌肉中苏氨酸(Thr)、缬氨酸(Val)、异亮氨酸(Ile)和亮氨酸(Leu)的相对含量均显著高于 TPA 组($P<0.05$)。

鲜味氨基酸的组成和含量决定着鱼肉的鲜美程度^[31],鲜味氨基酸包括鲜味特征性氨基酸:天冬氨酸(Asp)和谷氨酸(Glu);以及甘味特征性氨基酸:甘氨酸(Gly)和丙氨酸(Ala)^[32]。IPA 组和 TPA 组养殖的斑点叉尾鲷腹部肌肉中,四种鲜味氨基酸相对含量存在差异,且均为 IPA 组显著高于 TPA 组($P<0.05$)。氨基酸总量、必需氨基酸总量和鲜味氨基酸总量在背部肌肉均为 IPA 组显著高于 TPA 组($P<0.05$);在腹部肌肉中,IPA 组的必需氨基酸总量和鲜味氨基酸总量显著高于 TPA 组($P<0.05$);而尾部肌肉中的三类氨基酸总量,IPA 组与 TPA 组无显著差异($P>0.05$)。运动训练能提高鱼肉中必需氨基酸和鲜味氨基酸含量^[33-34],适宜的运动训练增强了鱼类肠道功能,提高了对饲

料的消化吸收^[6]。因此,IPA 组肌肉中必需氨基酸和鲜味氨基酸含量增加。与 TPA 组相比,IPA 组养殖斑点叉尾鲷肌肉具有更高的营养以及更好的风味。

3.3 斑点叉尾鲷不同部位肌肉脂肪酸

鱼体中含有丰富的脂肪酸,饱和脂肪酸(SFA)是机体首要的能量来源。SFA 中豆蔻酸(C14:0)、棕榈酸(C16:0)等易导致血胆固醇的升高,引起心脏病的危害^[35]。本研究中,斑点叉尾鲷背部、腹部和尾部肌肉中,IPA 组豆蔻酸(C14:0)的相对含量显著低于 TPA 组($P<0.05$)。在维持运动的过程中,鱼类会倾向于优先利用 SFA 进行氧化供能^[36]。

单不饱和脂肪酸(MUFA)中具有代表性的是油酸(C18:1),可以降低低密度脂蛋白胆固醇的效果,预防动脉硬化^[35]。本研究中主要检测的 3 种 MUFA(C16:1、C18:1 和 C20:1)在不同部位肌肉中的相对含量,IPA 组与 TPA 组无显著差异($P>0.05$)。

多不饱和脂肪酸(PUFA)具有特殊的生物活性,在生物系统中有着广泛的功能^[35],主要包括 n-6 和 n-3 系列脂肪酸。n-6 脂肪酸包括亚油酸(C18:2)、 γ -亚麻酸(C18:3)、和花生四烯酸(C20:4)。n-3 脂肪酸包括 α -亚麻酸(C18:3)、EPA(C20:5)和 DHA (C22:6)。肌肉中含有较高的不饱和脂肪酸,尤其是高度不饱和脂肪酸,能显著增加肌肉多汁性和香味^[37]。本研究中发现, α -亚麻酸和 EPA 的相对含量,IPA 组尾部肌肉中亚油酸的相对含量显著高于池塘($P<0.05$);IPA 组背部和腹部肌肉中 EPA 的相对含量显著高于 TPA 组($P<0.05$);而 α -亚麻酸(C18:3)的相对含量,在 3 个部位的肌肉中均存在显著差异,且都为 IPA 组显著高于 TPA 组($P<0.05$)。肌肉中含有较高的多不饱和脂肪酸,能显著增加肌肉多汁性和香味^[37]。鱼类在运动过程中存在脂肪酸的消耗和能量的传递^[38-39]。持续的运动训练会导致脂肪酸由白肌向红肌转运^[21]。鱼体内多余的脂肪酸通过酯化作用形成脂肪,导致脂肪在体内沉积^[40]。这可能是导致 IPA 组和 TPA 组养殖的斑点叉尾鲷不同部位的肌肉中脂肪酸含量存在差异的原因。

3.4 斑点叉尾鲴肌肉质构特性

质构特性作为食品四大品质(外观、风味、营养、质构)要素之一,是肌肉品质评价的重要依据^[41-42]。对鱼类来说,肌肉硬度和弹性是反映肌肉品质的主要特质^[43]。本实验中,IPA 组养殖斑点叉尾鲴肌肉硬度、弹性、咀嚼性以及回复性显著高于 TPA 组($P<0.05$)。鱼肉的质构特性一般与脂肪含量和肌纤维特性有关^[44-45],鱼肉中脂肪含量过高会导致肌肉机械强度降低^[46-47],池塘内循环流水养殖模式中,在水流的作用下,斑点叉尾鲴运动量增加,其背部肌肉具有脂肪含量低的特点,IPA 组斑点叉尾鲴肌肉硬度显著高于 TPA 组。高弹性、高硬度的肌肉具有更好的口感^[48-49]。因此,两种模式下,池塘内循环流水养殖的斑点叉尾鲴肌肉口感更佳。

3.5 斑点叉尾鲴肌纤维特性

鱼类肌纤维特性主要包括肌纤维直径和密度,它们决定着鱼肉的品质^[50]。鱼类的生长至成熟的过程中,鱼肉肌纤维直径会增加,单位面积内肌纤维数目会减少,密度也就降低。研究表明,鱼肉硬度与肌纤维直径呈负相关,鱼肉硬度和咀嚼性与肌纤维密度呈正相关^[47,51],因此,鱼肉肌纤维直径越小、密度越大,鱼肉口感越好。养殖环境的不同也会影响鱼类肌纤维的特性,水库放养或网箱养殖等流水条件下的鱼类,生存环境更贴近自然环境,运动能力更强,其肌纤维具有直径小且排列紧密的特点^[45]。本实验中,IPA 组斑点叉尾鲴肌纤维长径与短径均显著低于 TPA 组($P<0.05$),肌纤维密度则高于 TPA 组。与前文 IPA 组斑点叉尾鲴肌肉硬度和弹性的质构特性高的结果相符。因此,与池塘养殖模式相比,池塘内循环流水养殖斑点叉尾鲴肌肉更细嫩、口感更好。

4 结论

与传统池塘养殖相比,池塘内循环流水养殖的斑点叉尾鲴在尾部肌肉中具有明显的高蛋白、低脂肪的特点。综合 3 个部位的肌肉来看,池塘内循环流水养殖的斑点叉尾鲴必需氨基酸和鲜味氨基酸的含量更高,其肌肉中含有更多 EPA 和 PUFA。从肌肉质构特性方面,池塘内循环流水养

殖的斑点叉尾鲴肌纤维具有直径小、密度大的特点,肌肉具有较高的弹性和硬度,其肉质更为细腻,口感更佳。因此,池塘内循环流水养殖的斑点叉尾鲴具有更高的营养价值和肌肉品质。通过池塘内循环流水养殖模式,斑点叉尾鲴肌肉品质与营养成分将有较大的改善。

参考文献:

- [1] Zhang S Y, Zhong L Q, Qin Q, et al. Three SNPs polymorphism of growth hormone-releasing hormone gene (*GHRH*) and association analysis with growth traits in channel catfish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, 40(5): 886-893. [张世勇, 钟立强, 秦钦, 等. 斑点叉尾鲴 *GHRH* 基因 3 个 SNPs 位点及其单倍型组合与生长性状的关联分析[J]. *水生生物学报*, 2016, 40(5): 886-893.]
- [2] Zhu Y Q. Effect of feeding broad bean on growth performance and flesh quality of channel catfish[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011. [朱耀强. 投喂蚕豆对斑点叉尾鲴生长性能和肌肉品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.]
- [3] Guo X D. Quality improvement of circulating water starvation treatment on the muscle of blunt snout bream[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019. [郭晓东. 循环水暂养处理对团头鲂肌肉品质的提升作用[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.]
- [4] Damsgård B, de Bjørklund F, Johnsen H K, et al. Short-and long-term effects of fish density and specific water flow on the welfare of Atlantic cod, *Gadus morhua*[J]. *Aquaculture*, 2011, 322-323: 184-190.
- [5] Fan H R. Development status and benefit analysis of internal-circulation pond aquaculture model[J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2019, 30(8): 40-42. [樊厚瑞. 池塘循环流水养殖模式的发展现状和效益分析[J]. *农村经济与科技*, 2019, 30(8): 40-42.]
- [6] Liu M, Mi G Q, Guo J L, et al. Effects of internal-circulation pond aquaculture model on growth performance, morphological indices, serum biochemical indices and muscle nutritional components of *Pelteobagrus fulvidraco*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(4): 1704-1717. [刘梅, 宓国强, 郭建林, 等. 池塘内循环流水养殖模式对黄颡鱼生长性能、形体指标、血清生化指标及肌肉营养成分的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(4): 1704-1717.]
- [7] Wang F, Lei J L, Gao C R, et al. Review of industrial recirculating aquaculture research at home and abroad[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(5): 1100-1111. [王峰, 雷霖霖, 高淳仁, 等. 国内外工厂化循环水养殖研究进展[J]. *中国水产科学*, 2013, 20(5): 1100-1111.]
- [8] Xu Y Q, Wu L X, Chen W, et al. Research progress on effects of water flow on physiology and ecology of fish[J].

- Modern Agricultural Science and Technology, 2020(4): 199-200. [许亚琴, 吴立新, 陈炜, 等. 水流对鱼类生理生态学影响的研究进展[J]. 现代农业科技, 2020(4): 199-200.]
- [9] Cai L B, Ren Z R, Lyu H, et al. Effects of short-term micro-flowing water treatment on flesh quality of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*)[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2020, 39(4): 128-136. [蔡礼彬, 任章睿, 吕昊, 等. 短时间微流水处理对异育银鲫肌肉品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(4): 128-136.]
- [10] Chen Z, Hu Y, An Y Q, et al. Quality improvement of short-time micro-flow water treatment on the flesh of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) cultured in a pond[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(7): 1198-1210. [陈周, 胡杨, 安玥琦, 等. 短时间微流水处理对池塘养殖草鱼鱼肉品质的提升作用[J]. 水产学报, 2020, 44(7): 1198-1210.]
- [11] Nguyen Duy H, Coman G J, Wille M, et al. Effect of water exchange, salinity regime, stocking density and diets on growth and survival of domesticated black tiger shrimp *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) reared in sand-based recirculating systems[J]. Aquaculture, 2012, 338-341: 253-259.
- [12] Feng D P, Dong J F, Zhang J P, et al. Comparison and quality evaluation of nutritive composition in muscle of *Schizothorax prenanti* reared in cages and flowing water[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2017, 30(4): 17-22. [冯德品, 董舰峰, 张金平, 等. 网箱与微流水养殖的齐口裂腹鱼肌肉营养成分的比较与分析[J]. 水产学杂志, 2017, 30(4): 17-22.]
- [13] Li X M, Yuan J M, Fu S J, et al. The effect of sustained swimming exercise on the growth performance, muscle cellularity and flesh quality of juvenile qingbo (*Spinibarbus sinensis*)[J]. Aquaculture, 2016, 465: 287-295.
- [14] Harimana Y, Tang X, Xu P, et al. Effect of long-term moderate exercise on muscle cellularity and texture, antioxidant activities, tissue composition, freshness indicators and flavor characteristics in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. Aquaculture, 2019, 510: 100-108.
- [15] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard: Determination of moisture in foods, GB 5009.3-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准: 食品中水分的测定 GB 5009.3-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.]
- [16] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, National Food and Medical Products Administration. National food safety standard: Determination of protein in foods, GB 5009.5-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准: 食品中蛋白质的测定 GB 5009.5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.]
- [17] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard: Determination of fat in foods, GB 5009.6-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准: 食品中脂肪的测定 GB 5009.6-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.]
- [18] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard: Determination of amino acids in foods, GB 5009.124-2016 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准: 食品中氨基酸的测定 GB 5009.124-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.]
- [19] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, National Food and Medical Products Administration. National food safety standard: Determination of fatty acids in foods, GB 5009.168-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中脂肪酸的测定: GB 5009.168-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.]
- [20] Yue Y R, Xiao W, Zou Z Y, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in meat of tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(11): 88-93. [乐贻荣, 肖炜, 邹芝英, 等. 奥尼罗非鱼肌肉营养成分分析和营养价值评定[J]. 中国农学通报, 2015, 31(11): 88-93.]
- [21] Zhu Z M. Research of carbohydrate and lipid metabolism in muscles and liver in *Barbodes schwanenfeldi* during exercise training[D]. Guangzhou: Jinan University, 2014. [朱志明. 运动训练下多鳞四须鲃(*Barbodes schwanenfeldi*)肌肉和肝脏糖、脂代谢研究[D]. 广州: 暨南大学, 2014.]
- [22] Anttila K, Jäntti M, Mänttari S. Effects of training on lipid metabolism in swimming muscles of sea trout (*Salmo trutta*) [J]. Journal of Comparative Physiology B: Biochemical Systemic & Environmental Physiology, 2010, 180(5): 707-714.
- [23] Xiong M, Wu Z L, Lin X D. Meat quality characteristics of spotted knifejaw (*Oplegnathus punctatus*) cultured under different aquaculture modes[J]. Food Science, 2016, 37(3): 17-21. [熊铭, 吴祖亮, 林向东. 不同养殖模式斑石鲷的鱼肉品质特性分析[J]. 食品科学, 2016, 37(3): 17-21.]
- [24] Song B L, Lin X T, Xu Z N. Effects of upstream exercise training on feeding efficiency, growth and nutritional components of juvenile tinfoil barbs (*Barbodes schwanenfeldi*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(1): 106-114. [宋波澜, 林小涛, 许忠能. 逆流运动训练对多鳞四须鲃摄食、生长和体营养成分的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(1): 106-114.]
- [25] Steinhausen M F, Steffensen J F, Andersen N G. Tail beat frequency as a predictor of swimming speed and oxygen consumption of saithe (*Pollachius virens*) and whiting (*Merlangius merlangus*) during forced swimming[J]. Marine Biology, 2005, 148(1): 197-204.

- [26] Yuan X, Tu Z Y, Han J C, et al. Effects of flow rate on swimming behavior and energy consumption of *Schizothorax chongi*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(2): 270-275. [袁喜, 涂志英, 韩京成, 等. 流速对细鳞裂腹鱼游泳行为及能量消耗影响的研究[J]. 水生生物学报, 2012, 36(2): 270-275.]
- [27] Yuan X, Tu Z Y, Han J C, et al. Effects of folw rate on swimming behavior and energy consumption of *Carassius auratus*[J]. Journal of Hydroecology, 2011, 32(4): 103-109. [袁喜, 涂志英, 韩京成, 等. 流速对鲫游泳行为和能量消耗影响的研究[J]. 水生态学杂志, 2011, 32(4): 103-109.]
- [28] Wang L N, Tian Y S, Tang J, et al. Analysis and quality evaluation of nutritional components in the muscle of *Epinephelus moara*, *E. lanceolatus* and hybrid “Yunlong grouper”[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(7): 1085-1093. [王林娜, 田永胜, 唐江, 等. 云纹石斑鱼、鞍带石斑鱼及杂交“云龙斑”肌肉营养成分分析及品质评价[J]. 水产学报, 2018, 42(7): 1085-1093.]
- [29] He S J. Application of amino acids in animal feed[J]. The Chinese Livestock and Poultry Breeding, 2016, 12(10): 42-43. [何书军. 氨基酸在动物饲料中应用[J]. 中国畜禽种业, 2016, 12(10): 42-43.]
- [30] Wang X S. Effects of essential amino acids on human body health[J]. Food and Nutrition in China, 2005, 11(7): 48-49. [王小生. 必需氨基酸对人体健康的影响[J]. 中国食物与营养, 2005, 11(7): 48-49.]
- [31] Ma X Z, Wen X, Wang W. Comparisom of muscle nutritional components and nutritive quality of between wild and farmed *Pelteobagrus vachelli*[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2016, 43(1): 26-31. [马旭洲, 温旭, 王武. 野生与人工养殖瓦氏黄颡鱼肌肉营养成分及品质评价[J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(1): 26-31.]
- [32] Bing X W, Zhang X Z. Evaluation of nutritional components and nutritive quality of the muscle of *Oxyeleotris marmoratus* Bleeker[J]. Periodical of Ocean University of China, 2006, 36(1): 107-111. [邴旭文, 张宪中. 斑驳尖塘鳢肌肉营养成分与品质的评价[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2006, 36(1): 107-111.]
- [33] Song B L, Lin X T, Xu Z N. Effects of upstream exercise training on feeding efficiency, growth and nutritional components of juvenile tin foil barbs (*Barbodes schwanenfeldi*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(1): 106-114. [宋波澜, 林小涛, 许忠能. 逆流运动训练对多鳞四须鲃摄食、生长和体营养成分的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(1): 106-114.]
- [34] Song B L. Effects of water current on swimming activity, growth and ecophysiological aspect of young *Barbodes schwanenfeldi*[D]. Guangzhou: Jinan University, 2008. [宋波澜. 水流因子对红鳍银鲫(*Barbodes schwanenfeldi*)游泳行为、生长和生理生态影响的研究[D]. 广州: 暨南大学, 2008.]
- [35] Tian Y Q. Nutritional function of fatty acids[J]. Food and Nutrition in China, 2007, 13(8): 51-52. [田永全. 脂肪酸的营养功能[J]. 中国食物与营养, 2007, 13(8): 51-52.]
- [36] Xu H G. Effects of dietary fatty acids on growth performance, health and accumulation of lipids and fatty acids in juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. [徐后国. 饲料脂肪酸对鲈鱼幼鱼生长、健康及脂肪和脂肪酸累积的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.]
- [37] Bing X W. Comparative nutrition in muscles of *Spinibarbus sinensis* and *S. hollandi*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2005, 20(3): 233-237. [邴旭文. 中华倒刺鲃和光倒刺鲃肌肉营养品质的比较[J]. 大连水产学院学报, 2005, 20(3): 233-237.]
- [38] Rasmussen R S, Heinrich M T, Hyldig G, et al. Moderate exercise of rainbow trout induces only minor differences in fatty acid profile, texture, white muscle fibres and proximate chemical composition of fillets[J]. Aquaculture, 2011, 314(1-4): 159-164.
- [39] Li X M. The effect and mechanism of exercise training on growth performance in juvenile *Spinibarbus sinensis*[D]. Chongqing: Southwest University, 2013. [李秀明. 运动训练对中华倒刺鲃幼鱼生长的影响及其机理研究[D]. 重庆: 西南大学, 2013.]
- [40] Smith S, Witkowski A, Joshi A K. Structural and functional organization of the animal fatty acid synthase[J]. Progress in Lipid Research, 2003, 42(4): 289-317.
- [41] Tu K, Jiang S, Zhu W X. Physical Properties of Food[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2006: 115. [屠康, 姜松, 朱文学. 食品物性学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2006: 115.]
- [42] Wen P, Zhou Y T, Yu Y L, et al. Analysis of muscle quality variations among five different varieties of brindled *Monopterus albus*[J]. Food Science, 2015, 36(20): 120-125. [文平, 周运涛, 喻亚丽, 等. 5种不同花斑黄鳝肌肉品质的差异性分析[J]. 食品科学, 2015, 36(20): 120-125.]
- [43] Hu F, Li X D, Xiong S B, et al. Texture properties of freshwater fish and their correlation with nutritional components [J]. Food Science, 2011, 32(11): 69-73. [胡芬, 李小定, 熊善柏, 等. 5种淡水鱼肉的质构特性及与营养成分的相关性分析[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 69-73.]
- [44] Ma L Q, Qi C L, Cao J J, et al. Comparative study on muscle texture profile and nutritional value of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) reared in ponds and reservoir cages[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(4): 531-536. [马玲巧, 亓成龙, 曹静静, 等. 水库网箱和池塘养殖斑点叉尾鲷肌肉营养成分和品质的比较分析[J]. 水产学报, 2014, 38(4): 531-536.]
- [45] Liu J Y, Zhao Q C, Cheng S F, et al. Research progress on the influencing factors and determination methods of fish muscle texture[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(9): 3035-3043. [刘婧懿, 赵前程, 程少峰, 等. 鱼肉质构的影响因素及测定方法研究进展[J]. 食品安全质量检

- 测学报, 2020, 11(9): 3035-3043.]
- [46] Johnston I A, Alderson R, Sandham C, et al. Muscle fibre density in relation to the colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. Aquaculture, 2000, 189(3-4): 335-349.
- [47] Johnston I A, Li X J, Vieira V L A, et al. Muscle and flesh quality traits in wild and farmed Atlantic salmon[J]. Aquaculture, 2006, 256(1-4): 323-336.
- [48] di Monaco R, Cavella S, Masi P. Predicting sensory cohesiveness, hardness and springiness of solid foods from instrumental measurements[J]. Journal of Texture Studies, 2008, 39(2): 129-149.
- [49] Lin W L, Yang X Q, Li L H, et al. Research of relationship between texture and sensory evaluation of crisp grass carp[J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(1): 1-7, 72. [林婉玲, 杨贤庆, 李来好, 等. 脆肉鲩质构与感官评价的相关性研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(1): 1-7, 72.]
- [50] Guan W J, Zhu Y F, Chen Z D. Muscle quality in fish related to characteristics of muscular fibers[J]. Fisheries Science, 2008, 27(2): 101-104. [关文静, 朱艺峰, 陈芝丹. 鱼类肌纤维特性与鱼肉品质关系[J]. 水产科学, 2008, 27(2): 101-104.]
- [51] Hatae K, Yoshimatsu F, Matsumoto J J. Role of muscle fibers in contributing firmness of cooked fish[J]. Journal of Food Science, 1990, 55(3): 693-696.

Analysis of muscle quality variations of *Ictalurus punctatus* reared in internal-circulation pond aquaculture

DONG Lixue^{1,2}, YU Yali², MAO Tao², ZHANG Lang², ZHOU Yuntao², CHEN Tingting², HE Li²

1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Aquatic Product, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430223, China

Abstract: As a new type of green farming mode, internal-circulation pond aquaculture (IPA) adopts the concept of “fish farming in ponds and water purifying outside ponds” and relatively closed self-repairing technology to achieve the requirements of sustainable development of fisheries. However, little is known about the effect of this farming mode on fish muscle nutritional quality. To investigate the difference in muscle quality of *Ictalurus punctatus* reared from internal-circulation pond aquaculture and traditional pond aquaculture (TPA), the texture and fiber characteristics of muscle were determined by texture analyzer and the nutritional components of three parts of muscles (back, abdomen and tail) were determined by biochemical analysis. The results showed that the crude protein content of tail muscle in IPA group was significantly higher than that in TPA group ($P < 0.05$) and the crude fat content of back and tail muscle in IPA group was significantly lower than that in TPA group ($P < 0.05$). The total amount of amino acids, essential amino acids and fresh amino acids in back muscle of IPA group were significantly higher than those in TPA group ($P < 0.05$). Besides, the total amount of essential amino acids and fresh amino acids in abdominal muscle of IPA group were significantly higher than those in TPA group ($P < 0.05$). Among the 17 fatty acids identified, significantly lower myristic acid and higher EPA were found in the three parts of muscles of IPA group than that in TPA group ($P < 0.05$). The total amount of PUFA in back and abdominal muscles in IPA group were significantly higher than those in TPA group ($P < 0.05$). In terms of the texture profile, the hardness, springiness, chewiness and resilience in muscle of *I. punctatus* in IPA group were enhanced significantly compared with those in TPA group ($P < 0.05$), and the muscle fibers in the IPA group had the characteristics of small diameter and high density. Overall, these results suggested that *I. punctatus* reared from IPA model has greater advantages in muscle quality and nutrition.

Key words: *Ictalurus punctatus*; internal-circulation pond aquaculture; traditional pond aquaculture; muscle quality; nutrition composition

Corresponding author: HE Li. E-mail: 1170746090@qq.com